DOI:
张震 基于智能电网示范工程设计理念的电表测试产业研究［J］. ****，****，**，（**）：00-00
ZHANG Zhen Research on the electricity meter testing industry based on the design concept of smart grid demonstration project［J］. ****，****，**，（**）：00-00

基于智能电网示范工程设计理念的电表测试产业研究

张震
华能济南黄台发电有限公司，山东 济南 250100

摘 要：主要描述了国网在智能电表和配电网方面的投资转变，以及这种转变对电表行业的影响。国网将投资重点从智能电表转向了新一代智能变电站示范工程和智能配电网建设。新一代智能变电站以集成化智能设备和一体化业务系统为主要特征，包括一次设备集成化、二次设备集成化以及一次设备与二次设备功能集成化。国网还提出了发展配电网的紧迫性，并计划加快配电网的智能化升级进程。此外，文中还提到了电子式电表测试技术的最新发展，特别是中国计量院在高压三相电能计量标准方面的进展，包括高压标准功率源和高压/低压多功能标准表等。这些技术进展为电子式电表的测试提供了更准确、高效的工具。总的来说，反映了电网技术在不断发展和升级，对电表行业提出了新的挑战和机遇。传统电表企业需要适应这些变化，学习和研究现代电网量测技术，并开发出适应智能配电网快速发展的新产品。

关键词：智能电网 电表测试产业 配电网
中图分类号：TM933.4 **文献标识码：** **文章编号：**

Research on the electricity meter testing industry based on the design concept of smart grid demonstration project

ZHANG Zhen
Huaneng Jinan Huangtai Power Generation Co.，Ltd.，Jinan，shandong 250100，China

Abstract: It mainly describes the transformation of State Grid's investment in smart meters and distribution networks, and the impact of this transformation on the meter industry. The State Grid has shifted its investment focus from smart meters to a new generation of smart substation demonstration projects and smart distribution network construction. The new generation of intelligent substations is mainly characterized by integrated intelligent equipment and integrated business systems, including the integration of primary equipment, the integration of secondary equipment, and the integration of primary equipment and secondary equipment. The State Grid also put forward the urgency of developing the distribution network and plans to speed up the intelligent upgrading process of the distribution network. In addition, the article also mentions the latest development of electronic meter testing technology, especially the progress of the China Metrology Institute in high-voltage three-phase electric energy metering standards, including high-voltage standard power sources and high-voltage/low-voltage multi-function standard meters. These technological advances provide a more accurate and efficient tool for the testing of electronic meters. Overall, it reflects the continuous development and upgrading of grid technology, which presents new challenges and opportunities for the meter industry. Traditional meter companies need to adapt to these changes, learn and research modern power grid measurement technology, and develop new products that adapt to the rapid development of smart distribution networks.

Key words: Smart grids Electricity meter testing industry Distribution grids

作者简介：张震 男， (1977-)， 从事电能计量技术研究 721047546@qq.com

0 引言

2013年，国网智能电表第3批集中招标量实然下降，对电表行业的表计、终端及测试装备市场有较大的影响，究其原因：据说国网将智能电网的投资重点转到新一代智能变电站示范工程和智能配电网建设。

国网于2012年12月召开新一代智能变电站示范池工程建设启动会议。新一代智能变电站示范工程：以集成化智能设备和一体化业务系统为主要特征，将实现分专业设计向整体集成设计的转变，一次设备智能化向智能一次设备的转变，是先进适用技术的集成应用，其中：

·一次设备集成化，如采用集电子式高压互感器、隔离开关和断路器为一体的集成式智能断路器。

·二次设备集成化，如辽宁220kV何家智能变电站是世界上第一个采用许继集中式保护的智能变电站，意指传统的一次保护系统，测控、计量、保护一项功能需要一套装置。现在，设备集成化、功能软件化，解除功能和装置的绑定。

·一次设备与二次设备功能集成化，如福建500kV笠里变电站，首次采用“一次设备+智能终端+传感器”模式，运用微水、压力、密度在线监测等多合一IED（智能电子装置）实现一次设备的远程可视化。

国网2013年年中工作会议提出“发展配电网是当务之急”，要借鉴国际经验，科学建设配电网，未来配电网将加快智能化升级进程：

·未来配电网将具备良好兼容的特征，以保证绿色电源和新型用电设备的无缝接入，实现终端客户“即插即用”。

·未来配电网随着先进通信技术的发展，将变成一个动态高效、便捷交互、可用于实时信息和功率交换的超级架构网络，实现高可靠、实时性通信，保障配电网与客户各层级之间的关联、配合和交互。

·未来配电网通过对供电可靠性状况的实时监控，可实现故障预警、分析和决策，达到电网自我预防和自我恢复的目的，实现电网运行最优，确保客户用电可靠。

·未来配电网基于先进的电力电子技术、纳米材料、低功耗技术等，实现电能质量优化控制，最大限度降低电网损耗。

国网2013年第4季度工作会议：强调要把握第三次工业革命孕育发展的新机遇，电网“两头薄弱”（注：特高压网、配电网）问题亟待解决，新能源和分布式电源发展迅猛，社会用电友好互动要求不断提高。会议提出要适应分布式电源接入，支持分布式电源“即插即用”，推广分布式电源并网专用低压断路器和反孤岛装置；推动绿色智能用电，主动引导微电网发展，研发双向互动智能设备，刘振亚两次提到研究双向互动智能电表；还要推动差异化配电自动化建设。

据了解，国网2014年营销（计量）工作新课题：

用电与能效监测管理；

新一代智能变电站电能计量技术；

电能计量装置运行状态评估；

分布式电源并网的电价管理及计量溯源。

由此给予电表测试产业发展新的启示：在做好传统电表测试市场基础上，借鉴新一代智能变电站和智能配电网建设示范工程设计理念，就是集成化智能设备、一体化业务系统和跟踪未来配电网智能化升级进程，包括二次设备集成化，一次设备与二次设备功能集成化，双向互动智能电表/设备，新一代智能变电站电能计量，分布式电源和智能用电设备“即插即用”，电能质量优化控制，最大限度地降低电网损耗，用电能效监测，电能计量装置运行状态评估和高可靠、实时通信技术要求，同时，传统电表企业要转向从学习、研究现代电网量测技术做起，进而开发出配电、用电网运行量测、在线测控及系统产品，适应智能配电网预期快速发展的新需求。

一、电子式电表测试技术的最新发展

1、中国计量院：10kV、35kV、110kV/1000A，准确度为0.02%的高压三相电能计量标准

1 ）高压标准功率源

三相高压大电流标准功率源是高压电能的实物标准，它本质上是一个等效的标准电网。

高压大电流标准功率源以嵌入式工业控制微机为核心。HVS1500（A、B、C）为三路谐波信号发生器，它是一个数字信号发生器，它的波形数据是微机直接设置的，微机可以改变设置以反馈的形式锁定功率源输出电压、电流的波形以及它们之间的相位，它的输出幅值是由微机通过相应的D/A控制。HVS1500三相六路电压、电流信号的输出，经过HVP1500（A、B、C）三相六路功率放大以后，其中电压源的功率放大器输出经过三路升压器，即可获得所需的三相高压，电流源的功率放大器输出

经过三路升流器，即或获得所需的三相电流。三路输出的高电压和大电流，通过相应的电压/电压变换器（V/V）和电流/电压变换器（I/V），高准确度地转换为A/D电平的信号电压，该信号电压经6路A/D进行时间和幅值的量化，获得了6组相关的数据送入微机，微机通过其软件功能从定义出发计算并锁定输出电压、电流（包括频率、幅值、波形、相位）和功率（包括有功和无功功率），整个环路构成了一个三相标准功率源。

2　）高压/低压多功能标准表

标准装置的另一个重要组成部分是三相多功能标准表，它本质上是标准功率源的测量部分。它的6路标准电流/电压变换器I/V和标准电压/电压变换器V/V，将输入大电流和输入高压电信号准确地转化为A/D电平信号，再通过A/D采样并连接到嵌入式计算机，微机通过其软件功能从定义出发计算出输入电压、电流（包括频率、幅值、波形、相位）、谐波和功率（包括有功功率和无功功率），并对功率积分进而得到电能，构成一个三相多功能标准表。

为了建立高压电能计量标准的需要，按照第三代ATE的概念，标准装置中的三相多功能标准表，具有两个应用软件“三相多功能标准表”和“高压三相多功能标准”，配合两组不同的I/V、V/V和其它硬件，实现高低压两个三相多功能标准表的功能，前者的电压量程为50V、100V、200V、400V，电流量程为0.1A-100A，其基本量程是5A/100V，是低压三相多功能标准表；后者在本项目中的电压量程为10kV、35kV、110kV，电流量程为1000A-10A，是高压三相多功能标准表。

3　）高压电能计量标准的量值溯源

高压电能计量标准的量值最终溯源到国家电能基准（3×10^{-5}），它借助于国家三相电能标准（1×10^{-4}）和国家高压比例标准（2×10^{-5}）将量程扩展到高压、大电流。溯源实验前，标准多功能表经过国家电能标准实验室的校准，标准电压互感器和电流互感器经过国家高压标准实验室的校准，使之成为高压电能量值溯源的基础。

以上由中国计量院研发的10kV/1000A、0.02级三相高压电能计量装置已经建标，并由国家计量行政部门发证。可以说，在国内10kV高压电表已经可以实现直接计量溯源；同时，要关注10kV、0.05级三相高压电表校验装置是否开展建标考核。

2、郑州万特电气公司：计量箱内单相智能电能表性能评估试验装置

1）该装置的性能基本符合：

·国网智能电表新标准

·国网：2012年7月发布的智能电表质量管控管理的意见。

·重庆电科院：单相智能电表性能评估试验装置技术规范

·分布式电源并网电能计量要求

·智能电表相关的国家法制计量规程

2）该装置的准确等级为0.1级，具有IEC/国标规定的常规测试项目44项；用于性能评估的特殊测试项目41项，其中在计量箱内进行电能表影响量测试8项：

·被试表长时间的潜动测试

·周围表计不同负载下引起被试表潜动/起动/基本误差的改变

·周围表计在上电时对被试表潜动/起动/基本误差的影响

·与周围电表间隔距离的影响

·大电流汇流排的影响

·被试表与低压断路器配合影响

3）测试案例：10个不同厂家的单相智能电表在表箱内的测试结果

·同一被测表在$0.01I_b$—I_{max}、功率因数为0.5L-1.0范围内，周围电表施加40A电流，该被试表在$0.5I_b$/1.0的变差为+0.47%，而且随负载电流减小/功率因数降低，表计变差越来越大，在$0.01I_b$/0.5L时变差达到+35.1%。

·10个厂家的被试表，在$0.05I_b$/1.0，周围电表施加40A电流时，90%的厂家被试表变差为±1%—±5%。

·10个厂家的被试表，在$0.01I_b$/0.5L，周围电表施加40A电流时，全部被试表变差为±3%—±35%。

·长时间潜动测试：某一被试表对应的出线低压断路器断开，周围电表施加40A电流，经过14h，被试表因潜动引起的电量改变为0.08kWh。

·各厂家被试表的计量最小电流不同，有的电表在$0.004I_b$/0.5L时就不能计量。

·在I_b/极低功率因数（90±0.5度）下，被试表误差都很大，有的超出20%。

·0.5I_b及以下电流突变，被试表误差平均值都较大，有的超出20%。

·电压变化影响的测试：有的被试表在扩展电压范围内，误差随电压升高而变大；有的被试表在电压很高时，内部有保护措施。

·10个厂家的被试表，最低计量工作电压不一，在100-125V范围内/最低通信工作电压不一，在87-121V范围内/最低工作电压下限不一，在100-125V范围内。

3、关注智能用电热点下的双向互动智能电表/智能用电交互终端与测试技术的兴起

前面叙述：刘振亚在国网2013年第4季度工作会议上提出研究双向互动智能电表的新课题。但是，2013年10月，中国电科院刊文指出："智能电表的主要功能，是基于目前国内智能用电研究实践中普遍采用的功能配置模式，即不承载具体智能用电互动业务"。"智能用电交互终端是一种可以承担信息互动、智能分析控制，并承载多种智能用电互动业务的智能终端"。以上两则信息不同，可以预期国网2014年度工作会议将对智能配电网的建设，包括智能用电技术、双向互动智能电表/智能用电交互终端的发展做出最终决策和统一部署。

1）2011年，中国电科院：《双向智能电能表功能需求和结构性能分析》

·在2009年发布的国网智能电表功能规范基础上，根据智能电网用电部分和各类微型分布式能源并网可能出现的需求，提出了双向互动、电能质量监测、与智能家居网络接口、最大负荷控制和停电信息上传5项新的功能。

·智能电表需要进行技术改进、升级：

现有标准规定的通信方式和通信速率很难满足新的要求；

现有"电能反向计量"如何与电能表非正常工作的反向计数进行判别？

表计与智能家居系统的接口，两者之间的通信方式、通信规约存在缺失；

电能质量监测？

随着居民负荷不断加大，Rogowski线圈的优势越来越大；

采用 Cortex 内核的 ARM 系列 MCU；

如果检测到的电量数据不能写入存储器或者写入存储器过程出错，电能表的精度就降低；

智能电能表外部存储器逐步开始使用新型非易失性铁电存储器；

随着固态继电器在不断改进，未来可考虑采用固态继电器替代磁保持继电器；

增加"停电信息上传"功能，需要采用5.5V、1F左右超级电容作为停电后的备用电源；

耦合隔离部件可考虑采用磁耦元件替代原有的光耦元件。

2 ）浙江计量院：《智能电能表的概念、标准化和检测方法初探》

·智能电表不再是一个终端产品，它是连接用电用户和配电中心的一个中间环节，将用电信息以及配电信息及时告知用配电双方，达到资源利用效率的最大化。

·国际法制计量组织（OIML）认为：智能电表可以描述为具有基本功能（计量）和在双向通信基础上的附加功能的仪表。

·IR46国际建议，它们从指导生产和法制管理等方面规范电能表的生产和使用。

·需要给出计度器、用户显示器以及中心数据库的电能计量数据一致性的判定准则和验证方法。

·对于智能电表双向通信功能的测试，应该模拟智能电表的实际使用环境，在此条件下进行各项附加功能的测试，并进行双向通信功能的可靠性、稳定性以及安全性验证。

·智能电表的软件应从正确性、安全性以及一致性三个方面提出要求，并注重对软件如下5个方面进行验证：

软件识别号的显示

算法和功能的正确

程序和数据存储的安全

参数的安全

故障识别和持久保护

智能电表软件测试流程一般包含软件文档分析、计量功能确认、软件特征确认、数据流以及模块测试等步骤。

3 ）南京电网：《大用户智能用电互动应用技术研究》

·大用户智能用电的互动信息内容、交互终端设

备、大用户内部信息通用传输模块的研究。

·大用户智能用电互动通信传输技术架构与软件系统研究。

4）2013年10月，中国电科院：《灵活互动智能用电的技术架构探讨》

·中国电科院在网上发布信息：2013年10月29日山东省科技厅在济南组织召开“灵活互动的智能用电关键技术研究”项目成果鉴定会。

4、变电站在线电能表远程监测系统与实验室模拟现场环境的三相电表性能测试装置。

该项目是适应2014年国网营销部可能开发电能计量装置运行状态评估技术研究的需要。

1）变电站（关口、大用户、线损统计）电表远程监测系统，其系统准确度初定为0.05级，包括0.02级单相标准电表3台组合，0.02级、0.5A中间电流互感器。该系统检测的在线电表运行性能/数据，通过电网光纤网络接入省级/地市级电力部门远程集中监测平台。

2）实验室模拟现场环境的三相电表性能测试装置，初定装置准确度为0.2级；模拟现场环境的参数：三相电压、电流、相角不对称/不平衡；特殊情况下，电网频率偏离额定范围；电压、电流谐波含量超标；强电磁场影响；环境温度、湿度改变等。

3）研究以上两个子项目测试数据的比较方法和数据库设计技术。

4）参考文稿：

重庆电科院、重庆大学：《电能计量装置状态模糊综合评估及检验策略研究》

武汉南瑞公司：电能计量装置在线监测系统

5、iMeter高端智能电表如何测试？

iMeter高端智能电表可实现高密度、高精度电压、电流的动态特性监测，针对供用电系统局部异常或局部故障，准确地记录大量波形信息，对潜在的、瞬时的、持续的局部故障进行灵敏识别和准确判断，快速诊断事故发生源、故障源方向、故障源的位置。

6、《进口高端电表全性能研究》合作项目正在进行时

该项目的研究内容：

1）技术标准

2）进口高端电表内部结构、性能剖析

3）电表器件研究

4）高端电表生产与工艺稳定性措施

5）高端电表性能的特殊测试方法，包括可靠性测试

6）进口高端电表全性能研究项目如何实施？国内某大型电表企业的建议：

·进口高端电表研究的表型：兰吉尔公司的ZMQ202C.6；伊斯卡公司的WQMT；埃尔斯特公司的A1800；爱拓利公司的SL7000；艾创公司的Q1000；红相公司的MK6E。

·进口高端电表内部结构、性能剖析

元器件：热敏电阻；通孔电解电容；PUS电缆；CT；电压采样电阻；PCB板层；时钟电池；AD；电压基准；晶振；端子排。

PCBA加工工艺；板型布局；清洗；覆膜；分板。

整机结构：PCBA安装方式；端子排铜条限位；底盒限位柱；电压端子线固定方式；CT线固定方式；显示板固定方式。

·影响关口电表准确度的稳定性，主要存在小信号准确度发散；长期工作后准确度发漂；如何提高温度、湿度变化下准确度的适应性问题。

·元器件与零部件的选型与控制

精选欧洲元器件供应商

精细的内部选型测试

特殊要求的电路板材料

·高端电表性能的特殊测试方法

现场工况测试：负荷变化频繁、畸变，低功率因数，轻载。

线性度测试：从启动电流到最大负荷电流误差线性

多应力测试：模拟现场负荷环境，检验可靠性。

·进口高端电表全性能研究报告编制准备工作

收集进口表检测误差及现场校验误差

调研进口高端电表生产工艺稳定性方法

7、适应国际法制计量组织制订的IR46法制计量规范实施需求的三相电子式电表性能测试装置是否可以超前开发？

二、低压窄带载波 PLC 瓶颈技术破解正在进行时，发掘通信测试设备尚待产业化

1、现场用低压窄带载波通信多频点信噪比测试仪：国内空白

2、重庆电科院：《一种载波通信路由测试装置的研制》

3、深圳中创电测公司：HE1001型电力线网络分析仪

4、北京化工大学、黑龙江电科院：《低压电力线载波信道阻抗测试终端的设计与应用》

5、南京致德公司：低压载波点对点通信测试方案

三、国网电科院：《配电变压器智能化技术研究》

该项目提出了基于B/S架构的配电变压器智能监测系统，实现配变电量和非电量的统一监控、分析和处理。

配变终端主要实现配变运行参数的测量、相关电能的计量、异常情况的报警、运行状况的分析和预测。

为便于配变地理位置分散的管理，采用支持北斗定位与GPS定位的双模式定位技术。

配变与测量互感器一体化设计：在常规变压器结构的基础上，高低压引出线上增加电流互感器，非晶材料铁心，采集电流信号；高压线圈内部增加测量绕组，采集高压电压信号；箱盖上安装温度计，监测油温；在智能模块上也配置铂电阻，同时监测油温。

配变一体化信息平台，包括四个模块；配变状态实时监测；配变故障预警；配变损耗与负荷电能质量监测；配变维护检修等辅助决策。

需要进一步研究的问题；如何提高配变的使用寿命？采用通用、无缝的通信协议进行众多智能化配变与软件系统的交互？配变更加准确的故障诊断？

四、统计电表与低压用户最大负荷监测、控制网络

1、统计电表计量芯片开发，要求功能简化、低价位。

2、统计电表具有电力负荷测量、低压电力线保护、电能管理与本地通信联网功能

3、统计电表的电能管理功能是指测量与评估能耗，继而通过管理用电负荷，维持或降低由用户设定的峰值功率。

4、统计电表具有控制低压自动断路器跳闸/合闸功能。

5、统计电表通过对非主要负荷选择性的脱网和适时再投入实现电能管理。由此，需要开发专用软件算法。

6、在用户设定的最大功率前提下，统计电表通过能耗实时监测，应用专门开发的逻辑算法，在保证整个系统运行正常前提下，基于用户对电力负载优先级的排序，应用低压自动断路器控制主/次电路的分合。

7、本地通信联网：建议采用基于青岛东软公司第IV代低压窄带载波（20kbps）通信芯片的本地通信网络/无线传感器网络/OFDM窄带载波高速通信网络。

8、参考产品：ABB公司推出全球首款集成能源管理和智能电网通信功能的低压断路器Emax2。

五、电力变压器测试技术新领域

1、湖南省电力公司：《变压器容量测试仪校验装置的研制》

2、中国矿业大学：《基于虚拟仪器的变压器测试平台》

3、广州致远公司：高精度变压器损耗测试仪

4、武汉豪迈公司：投运前的变压器六角图测试仪

5、重庆大学：《电能损耗近似计算常用方法的误差分析》

参考文献

[1] 瞿清昌; 高压电能计量关键技术和量值溯源的研究《中国计量》- 2006-11-10

[2] 桂存兵;陶涛 智能配电变压器监测终端的设计《福建电脑》- 2008-07-01